

Довготривале нагрівання такого провідника можливе густиною струму утричі меншою від допустимої, однак такі режими є економічно не вигідними.

3. В реальних умовах, коли від провідника відводиться тепло, довготривалий струм граничного нагрівання залежить від теплових характеристик ізоляції (тобто коефіцієнта інтенсивності і теплообміну  $\alpha$  із оточуючим середовищем) і температури оточуючого середовища.

#### ЛІТЕРАТУРА

1. *Электротехнический справочник, изд 4-е перераб. под ред. П.Г. Грудинского М.Г. Чиликина (гл. ред) и др Т1, М., Энергия, 1971. – 880с.*
2. *А.А. Ермолаев Теоретические основы теплотехники. Государственное энергетическое издательство М.:Л.: 1957. – 350с.*
3. *Н.Н. Лариков. Общая теплотехника Стр. Изд. М.: 1966. – 445с.*
4. *В.С. Перхач. Теоретична електротехніка: лінійні кола: Підручник. – К.: Вища шк. 1992.– 439с. ил.*
5. *Х. Кухлинг Справочник по физике: Пер. с нем. – М.: Мир, 1982. – 520 с., ил.*

УДК 539.3, 622.692.4

*І.В. Дворянин, к.т.н., доц., А.Р. Дзюбик, к.т.н., доц., Ю.В. Гуцуляк, к.т.н., доц. (Львівський державний університет безпеки життєдіяльності)*

### ПРОГНОЗУВАННЯ НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЙ ПРИ ЕКСПЛУАТАЦІЇ ЗВАРНИХ КОНСТРУКЦІЙ НА ОСНОВІ ВИМІРЮВАННЯ НАПРУЖЕНЬ

В роботі пропонується комплексний підхід до визначення напруженого стану зварних металокопструкцій на основі інформації про тензорне поле умовних пластичних деформацій. Він дає змогу враховувати особливості експериментального обладнання, методів визначення напружень, впливу неоднорідності структурно-фазового складу в околі зварного шва на покази вимірювання та спосіб підготовки крайок деталей перед зварюванням

У наш час значний обсяг промислових споруд це зварні металокопструкції. Особливо великою є їх частка в будівництві, а також в хімічній, енергетичній, нафтогазовій та машинобудівній промисловості, тобто в галузях, які мають важливе господарське значення. Виникнення надзвичайних ситуацій в них може впливати не лише на економіку держави, а й призводити до важких екологічних наслідків, тому особливо важливо точно визначити несучу здатність таких споруд [1].

Одним з головних показників працездатності металокопструкцій є напружений стан який виникає в них, зумовлений як робочими так технологічними навантаженнями. Для зварних копструкцій це перш за все залишкові технологічні напруження, які часто в локальних об'ємах можуть наближатися до межі текучості матеріалу [2]. У практиці визначення таких напружень є поширена обернена задача: визначення напруженого стану копструкції, яка перебуває в експлуатації, на основі доступних експериментальних даних [3]. Експериментальні дослідження рекомендують виконувати акустичним та магнітним методами [4].

В роботі пропонується при визначенні тензорного поля умовних пластичних деформацій враховувати особливості будови експериментального устаткування для

визначення напружень, вплив на покази вимірювання неоднорідності структурно-фазового складу в околі зварного шва та спосіб підготовки крайок деталей перед зварюванням. При цьому важливо знати компоненти тензора повної деформації  $e_{ij}$ , що зображають у вигляді  $e_{ij} = e_{ij}^e + e_{ij}^0$ , де  $e_{ij}^e$  - компоненти тензора пружної деформації,  $e_{ij}^0$  - компоненти тензора пластичних деформацій, несумісність яких зумовлює виникнення залишкових напружень. Для його визначення необхідна додаткова (апріорна) інформація, яка дозволить побудувати алгоритм пошуку параметрів тензора. Такою інформацією можуть бути апріорні дані про гладкість шуканого розв'язку, його монотонність, випуклість, належність до скінчено-параметричного сімейства і т. д. Найбільш інформативним у цьому плані є поле умовних пластичних деформацій  $e_{ij}^0$ . Якщо це поле знайдене, то на основі відомих розв'язків, визначаються залишкові напруження в довільній точці зварного з'єднання [5-7]. Однак, застосування рекомендованих ультразвукового та магнітного методів без врахування особливостей неруйнівного діагностування напружень (переважно це інформація про комбінацію головних напружень), геометрії давачів приладів та впливу структурно-фазового складу матеріалу в зоні термічного впливу зварного з'єднання істотно може вплинути на точність вимірювання. Саме на розв'язання цих задач, у комплексному підході, спрямована дана робота.

Внаслідок гладкості поля умовних пластичних деформацій (неперервності функції  $e_{ij}^0$  та її похідних) деякі шукані його параметри, повинні задовольняти умови [6, 7]:

$$e_{ij}^0 \alpha = \alpha_0 = 0; \frac{de_{ij}^0}{d\alpha} \alpha = \alpha_0 = 0; i, j = \alpha, \beta, \quad (1)$$

де  $\alpha_0$  - ширина поля пластичних деформацій,  $\alpha, \beta$  - напрямки дії головних напружень.

Невідомими в (1) є скінчена кількість параметрів поля  $e_{ij}^0$ , і обернену задачу визначення тензорного поля умовних пластичних деформацій можна сформулювати як задачу про їх знаходження, після чого можна обчислити напруження в довільній точці зварного з'єднання [5 - 7].

Для знаходження невідомих параметрів використаємо експериментальну інформацію, зокрема інтегральні величини напружень, які вимірюють експериментальними неруйнівними методами. Позначимо ці параметри  $I_k^E(\sigma_{ij}(\alpha_n))$  і запишемо для них відповідні вирази через компоненти напружень  $I_k^T(\sigma_{ij}(e_{ij}^0, \alpha_n))$  та побудуємо функціонал:

$$g(e_{ij}^0) = \sum_{n=1}^N G_j [I_k^T(\sigma_{ij}(e_{ij}^0, \alpha_n)) - I_k^E(\sigma_{ij}(\alpha_n))]^2, \quad (2)$$

де  $\alpha_n$  - координати перерізів, у яких використані експериментальні вимірювання;  $G_j$  - деякі вагові множники.

Обернена задача про визначення поля умовних пластичних деформацій зводиться до знаходження таких параметрів поля  $e_{ij}^0$ , за яких буде мінімальним функціонал (2). Приймаючи їх за наближений розв'язок задачі та підставляючи їх у відповідні формули, знайдемо розподіл напружень в зварному з'єднанні для кожного конкретного випадку. Отже, чим більше апріорних даних, тим вища точність визначення поля. Загалом величини  $I_k^E(\sigma_{ij}(\alpha_n))$  визначають з певними похибками, які враховують при виборі коефіцієнтів  $G_j$ .

Будуючи функціонал (2), для випадку застосування неруйнівних методів визначення напружень, слід зважати на такі чинники, які призводять до похибок вимірювань:

□ значна кількість експериментальних даних може порушити гладкість шуканого поля;

□ експериментальні методи, як правило, дають інформацію не про окремі компоненти напруженого стану, а про їх комбінацію (різниця головних напружень тощо);

□ давачі приладів в більшості випадків не забезпечують достатньої локальності досліджуваної області при проведенні вимірювань;

□ на покази приладів істотно впливає зміна структурно-фазового складу матеріалу в зоні термічного впливу зварного з'єднання.

У випадку великої кількості членів полінома, який описує поле пластичних деформацій, замість функціонала (2) слід застосувати, так званий, згладжуючий функціонал, який є сумою функціонала  $g$  і стабілізуючого функціонала  $\Omega$ , який запропоновано в роботі [5]:

$$\Phi_\lambda(e_{ij}^0) = g(e_{ij}^0) + \lambda\Omega(e_{ij}^0), \quad (3)$$

де  $\lambda > 0$  - параметр регуляризації.

Стабілізатор  $\Omega$  гарантує певну гладкість функції  $e_{ij}^0$  і мінімізує кривину її графіка вздовж твірної.

Розглянемо формулювання такого функціонала для акустичного та магнітного методів. Ці методи дають змогу отримувати в результаті вимірювань середньо інтегральну різницю головних напружень за товщиною конструкції або різницю головних напружень на поверхні металу. Тому відповідні вирази, отримані на основі теоретичного розв'язку задачі при підстановці у функціонал (3), необхідно також записати у вигляді різниці напружень.

При проведенні досліджень на результати впливають геометричні фактори (давачі приладів мають скінченні розміри) та особливості застосовуваної методики (акустичний метод визначає середні за товщиною напруження). Отже, отримують значення напружень, які усереднюються давачами по досліджуваній області їх взаємодії із виробом. (рис. 1).

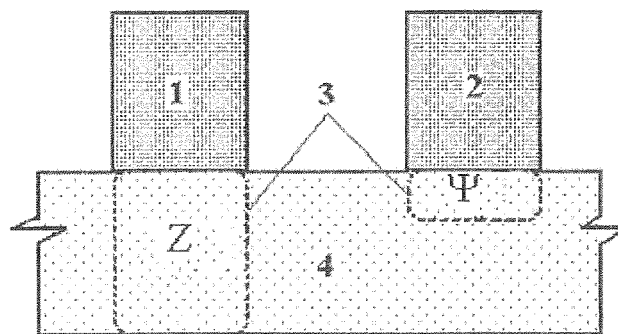


Рис. 1 Дослідження напружень неруйнівними методами: 1, 2 – давачі ультразвукового та магнітного методів; 3 – області взаємодії; 4 – досліджуваний матеріал.

Отже, для коректної побудови функціоналу (3) слід проінтегрувати теоретичні розв'язки задачі по відповідній області взаємодії давача.

Для магнітного методу це подвійний інтеграл по контуру давача (круг радіусом  $r$ ) (рис.2):

$$\frac{1}{\Psi} \iint_{\Psi} \sigma_0^{+T}(\alpha, +h) d\Psi = \frac{2}{\Psi} \cdot \int_{\alpha_1-r}^{\alpha_1+r} \int_0^{\sqrt{r^2 - (\alpha - \alpha_1)^2}} \sigma_0^{+T}(\alpha, +h) dx d\alpha,$$

де  $\Psi$  - контур інтегрування;  $\alpha_1$  - відстань від осі шва до геометричного центру давача;  $r$  - радіус давача;  $\sigma_0^{+T}(\alpha, +h)$  - різниця головних напружень на поверхні виробу;  $h$  - півтовщина матеріалу.

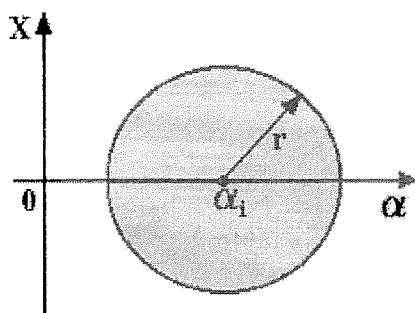


Рис. 2 Контактна площа давача методу магнітної тензометрії:

$\alpha_1$ ,  $r$  - відстань від осі шва до геометричного центру контактної площі давача та її радіус.

Точний розв'язок задачі подано в роботі [8].

Для акустичного методу це буде потрійний інтеграл, причому у першому наближенні інтегруємо за об'ємом деякого умовного циліндра ( $Z$ ):

$$\frac{1}{Z} \iiint_Z \sigma_0^T(\alpha, \gamma) dZ = \frac{2}{Z} \cdot \int_{-h}^{+h} \int_{\alpha_1-r}^{\alpha_1+r} \int_0^{\sqrt{r^2 - (\alpha - \alpha_1)^2}} \sigma_0^T(\alpha, \gamma) d\gamma d\alpha dx,$$

де  $Z$  - область інтегрування;  $\sigma_0^T(\alpha, \gamma)$  - різниця головних напружень.

Вплив зміни структурно-фазового складу матеріалу в околі зварного шва на діагностування напружень неруйнівними методами слід виконати за методикою, яка представлена в роботі [8]. Зазначимо, що визначальним при цьому є: 1) розмір ділянки із конкретною структурою, 2) початкові покази приладу на цій ділянці. Перше визначається для кожного конкретного випадку на основі експериментального визначення лінійних розмірів зони термічного впливу, а друге в лабораторних умовах на спеціальних зразках – імітаторах. Останні вільні від напружень та відтворюють структуру характерних ділянок зони термічного впливу зварного з'єднання даного класу сталей. Згідно з [8], величина відхилення тарувальних коефіцієнтів є в межах похибки приладу, тому для спрощення обчислень напружень запропоновано брати числове значення тарувального коефіцієнта, яке відповідає основному металу. Початкові значення зміни показів приладу, які залежать від фазового складу та швидкості охолодження металу з'єднання, визначаються як середнє значення в досліджуваній під давачем області. Зокрема, для трубної низьколегованої сталі середнє початкове значення зміни показів приладу буде [9, 10]:

$$N_0^{cep} = m \cdot N_0^{HP} + n \cdot N_0^H + k \cdot N_0^{HP} + s \cdot N_0^{OM}, \quad (4)$$

де  $N_0^{cep}$  – початкове значення показів приладу в досліджуваній під давачем області;  $N_0^{HP}$ ;  $N_0^H$ ;  $N_0^{HP}$ ;  $N_0^{OM}$  – значення показів приладу відповідних ділянок структур: OM – основний метал, HP – неповна перекристалізація, H – нормалізація, PP – перегрів;  $m$ ;  $n$ ;  $k$ ;  $s$  – вагові множники, що враховують вклад кожної із структур.

Однак, таке структурування зони термічного впливу (4) на окремі ділянки не відтворює реальної картини плавного переходу основного металу зварного з'єднання від одного структурно-фазового складу до іншого. Тому визначивши початкові значення зміни показів приладу на зразках-імітаторах (структурно-фазовий склад відповідає середині характерних ділянок) їх розподіл, для кожного конкретного випадку, слід описати деякою неперервною функцією  $f_{N_0}(\alpha_i)$ . Тоді середнє значення для магнітного методу можна представити, як інтеграл функції  $f_{N_0}(\alpha_i)$  на досліджуваній ділянці.

У випадку застосування акустичного методу задача ускладнюється тим, що інформація отримується давачем за товщиною металу. Якщо невідомо, як відбувається розподіл структур за товщиною (залежить від параметрів режиму зварювання, способу зварювання, розробки крайок і т. д.), то в першому наближенні при визначенні початкових значень показів приладу можна прийняти такі припущення. При зварюванні достатньо товстих деталей одностороннім швом без розробки крайок або із  $V$  – подібною розробкою крайок ця зміна відбувається по параболі, для двостороннього без розробки крайок або із  $X$  – подібною розробкою крайок по гіперболі. При зварюванні тонких деталей без розробки крайок або товстих із  $U$  – подібною розробкою крайок зміна структури відбувається рівномірно та прямолінійно за товщиною. В результаті отримуємо деякий замкнутий об'єм  $D$ . Він являє собою деякий параболоїд чи гіперболоїд обертання або циліндр, що обмежений по краях контуром давача та відображає нерівномірність зміни початкових значень приладу в зоні термічного впливу зварного з'єднання.

В результаті проведення таких викладок побудований функціонал (3) буде мати такий вигляд:

$$\Phi_{\lambda}(e_{ij}^0) = \sum_{n=1}^{n_1} P_n \left[ \frac{1}{Z} \iint_Z \sigma_0^T(\alpha_i, \gamma) dZ - \sigma_0^E(f_{N_0}(\alpha_i))_{\lambda} \right]^2 + \sum_{m=1}^{m_1} Q_m \left[ \frac{1}{\Psi} \iint_{\Psi} \sigma_0^{+T}(\alpha_i, +h) d\Psi - \sigma_0^{+E}(f_{N_0}(\alpha_i))_{\lambda} \right]^2 + \lambda \Omega(e_{ij}^0), \quad (5)$$

де  $P_n$ ,  $Q_m$ , - вагові множники, що враховують точність експериментальних даних, отриманих ультразвуковим та магнітним методами;  $\Psi$  - площа інтегрування (магнітний метод),  $Z$  - поверхня інтегрування (ультразвуковий метод).

Отже, в роботі запропоновано комплексний підхід до більш точного визначення тензорного поля умовних пластичних деформацій в зварному з'єднанні при застосуванні неруйнівних методів оцінки напружень при розв'язанні обернених задач механіки деформівних тіл. Зокрема це застосування згладжуючого полінома при значній кількості експериментальних даних, відповідний до конкретного методу визначення напружень запис теоретичного розв'язку задачі, спосіб врахування геометрії давачів приладів (магнітного та акустичного методів) із зазначенням границь області інтегрування певних компонент розв'язуваного функціонала, подано підхід до врахування впливу структурно-фазового складу зони термічного впливу різних типів зварних з'єднань шляхом отримання відповідної функції зміни початкових показів приладу в перпендикулярному до осі шва напрямку.

Перспективною розвідкою у даному напрямку є розширення класів сталей при вивченні напруженого стану їх зварних з'єднань, а також отримання теоретичних розв'язків задачі для різних експериментальних методів та приладів.

Запропонований функціонал дає можливість істотно підвищити точність визначення коефіцієнтів, поля пластичних деформацій, а отже, поля залишкових напружень в зварному з'єднанні.

#### ЛІТЕРАТУРА

1. Гольшиев А.Б., Ткаченко И.Н. Проектирование усиленных железобетонных конструкций производственных зданий и сооружений. - К.: Логос, 2001. - 172 с.
2. Винокуров В. А., Григорьянц А. Г. Теория сварочных деформаций и напряжений. - М.: Машиностроение, 1984. - 280 с.
3. Подстригач Я. С., Осадчук В. А. Исследование напряженного состояния цилиндрических оболочек, обусловленного заданным тензором несовместных деформаций и его приложения к определению сварочных напряжений // Физ. – хим. механика материалов. – 1968. – 4, № 4. – С. 400 – 407.

4. ВБН В.2.3.-000182001...-00 Сварка и контроль качества сварных соединений при сооружении магистральных газопроводов ДК "Укртрансгаз", Киев.-2000.-56с.
5. Подстригач Я. С., Осадчук В. А., Марголин А. М., Остаточные напряжения, длительная прочность и надежность стеклоконструкций. – К.: Наукова думка, 1991. – 296с.
6. Палаш В.М., Дзюбик А. Р. Экспериментально-розрахунковий метод визначення напруженого стану зварних стиків магистральних трубопроводів // Вісник НУ "Львівська політехніка": "Динаміка, міцність та проектування машин і приладів". – Львів: НУ "Львівська політехніка". – 2001. – № 434 – С. 101 – 105.
7. Осадчук В. А., Дзюбик А. Р., Назар І. Б. Розрахунково – експериментальний метод визначення залишкових напружень в оболонкових зварних з'єднаннях // Тези доповідей Української наукової конференції "Математика і механіка у Львівському університеті (історія і сучасність)". – Львів. – 1999. – С. 25.
8. Банахевич Ю.В. Діагностування напруженого стану магистральних нафтогазопроводів в околі стикових зварних з'єднань та корозійних пошкоджень розрахунково-експериментальним методом : Автореф. дис. канд. техн. наук : 05.15.13 / Івано-Франківський національний технічний університет нафти, 2003. – 19 с.
9. Банахевич Ю.В., Юськів В.М., Дзюбик А.Р. Дослідження напруженого стану в зварних з'єднаннях труб із врахуванням структурних змін// Науковий вісник Івано-Франківського національного технічного університету нафти і газу. – 2003. – №1 (5). – С. 118 – 121.
10. Банахевич Ю.В., Осадчук В.А., Дзюбик А.Р. Визначення залишкових напружень в околі кільцевого зварного з'єднання труб з урахуванням структурних змін в зоні термічного впливу // Розвідка та розробка нафтових і газових родовищ. – 2003. – № 1. (6). – С. 77 – 81.

УДК 614.842.615

*В.М. Жартовський, д.т.н., проф., С.В. Жартовський (Український науково-дослідний інститут пожежної безпеки)*

## ПОЖЕЖНА ПРОФІЛАКТИКА ЦЕЛЮЛОЗОВМІСНИХ МАТЕРІАЛІВ

Розглянуто теоретичні та експериментальні результати дослідження процесів піролізу целюлозовмісних матеріалів та шляхи їх вогнезахисту

Целюлозовмісні матеріали (деревина, тканина, папір, очерет) широко застосовуються у будівництві та побуті і складають значний відсоток пожежного навантаження об'єктів. Оскільки кожен з них є горючим матеріалом, то вони представляють значну пожежну небезпеку об'єктів. За пожежними і будівельними нормами і правилами [1,2] ці матеріали класифікуються як матеріали підвищеної горючості (Г4), легкозаймисті (В3), значно поширюють полум'я (РП4), з високою димоутворювальною здатністю (Д3), за токсичністю належать до високонебезпечних (Т3).

Статистика показує щорічне зростання пожеж, коли пожежним навантаженням об'єкта є целюлозовмісні матеріали, що засвідчує наявність проблеми з пожежної безпеки використання таких матеріалів. За будівельними нормами і правилами в залежності від функціонального призначення приміщень допускається застосування матеріалів з такими показниками, як Г1 або Г2, В1 або В2, РП1 або РП2, Д2 та Т2. А це вказує на те, що